

## Ensayos

# Efecto de los programas y flujos de aire en el Secado de Madera de Encino (*Quercus Candicans Neé*)

### Resumen

En un túnel de secado, se realizaron 8 experimentos de secado con madera de encino *Quercus Candicans Neé* con un contenido de humedad inicial promedio de 62.93% base seca, para estudiar el efectos de dos diferentes programas de secado y dos velocidades de flujos de aire en la calidad de la madera y en el tiempo de secado. Se aplicaron 2 programas de secado identificados como programa de secado fuerte (T3C4), el cual operó en el rango de temperaturas de 47-71°C y un programa de secado suave (T1C3) que operó en un rango de 37-48°C. Cada programa se aplicó a 2 diferentes velocidades de flujo de aire (1.073m/s y 1.64m/s). La calidad de la madera fue ponderada cuantificando el nivel de defectos (acanaladura, rajaduras, grietas, arqueadura, encorvadura y torcedura) generados por cada programa. De acuerdo al análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ), el programa T1C3 aplicado con un flujo de aire menor genera en promedio 37.73% menos defectos que el programa T3C4, pero incrementa en un 21.17% el tiempo de secado.

### Abstract

Using a drying tunnel, eight experiments were carried out on oak wood (*Quercus Candicans Neé*) with an initial average humidity content of 62.93% dry base; this was done in order to study the effects of two different drying programs and two airflow speeds on the quality of wood and on the drying time. Two drying programs were applied – one identified as a strong drying program (T3C4), which operated within a range of temperatures from 47-71°C.; the other was identified as a soft drying program (T1C3), which operated within a range of 37-48°C. Each program was applied at two different airflow speeds (1.073 m/s and 1.64 m/s). The quality of the wood was checked by quantifying the level of defects (striation, cracks, crevices, warping, curving and twisting) produced by each program. Based on the variance analysis ( $p \leq 0.05$ ), the T1C3 program applied with a lower airflow produces an average of 37.73% fewer defects than the T3C4 program, but it increases the drying time by 21.17%.

### Abstrait

Dans un tunnel de séchage, on a réalisé 8 expériences de séchage avec un bois de chêne vert, *Quercus Caidicans Neé*, avec un taux moyen initial d'humidité de 62,93% base sèche, pour étudier les effets sur la qualité et le temps de séchage de 2 programmes différents de séchage combinés à 2 vitesses de flux d'air. On a appliqué 2 programmes de séchage dénommés : programme de séchage fort (T3C4), lequel s'inscrit dans un écart de températures de 47 – 71°, et un programme de séchage doux (T1C3) qui utilisait des températures de 37 – 48°. Chaque programme a été appliqué avec 2 vitesses différentes de flux d'air (1,073 m/s et 1,64 m/s). La qualité du bois a été évaluée en quantifiant le niveau de défauts (cannelures, fentes, fissures, courbure, creusement, torsion) générés par chaque programme. En accord avec l'analyse de variance ( $p = 0,05$ ), le programme T1C3 utilisé avec un flux d'air plus lent génère en moyenne 37,73 % de défauts en moins que le programme T3C4, mais il augmente le temps de séchage de 21,17 %.

- \* Sadoth Sandoval Torres,
- \* Juan Rodríguez Ramírez,
- \* Lilia Méndez Lagunas.

### Palabras Clave

Programas de secado, túnel de secado, Encino *Quercus Candicans Neé*, calidad de la madera, tiempo de secado, análisis de varianza.

### Key Words

Drying schedules, drying tunnel, *Quercus Candicans Neé* Oak, wood quality, variance analysis, drying time.

## Introducción

El secado de la madera es una de las condiciones fundamentales para su transformación industrial, especialmente en la manufactura de diversos artículos de gran valor comercial. Sin embargo, dada la heterogeneidad en las características y propiedades de la gran diversidad de maderas, es importante conocer la interrelación de éstas con los parámetros del proceso de secado para obtener madera de buena calidad (Fuentes, 1996).

Este trabajo analiza el efecto que los programas de secado tienen sobre la calidad

\* Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, IPN.

de la madera y el tiempo de secado, midiendo los cambios de condiciones (temperatura, humedad relativa, velocidad de flujo de aire), hechos en cada etapa del proceso, para finalmente evaluar la calidad de la madera de encino, ponderando el nivel de defectos generados durante el secado. Los encinos no han sido aprovechados para la elaboración de productos de gran valor comercial debido al complejo y costoso proceso de secado, ya que si no se establecen de manera correcta las variables y condiciones del proceso se presentan gran cantidad de defectos, además de tiempos de secado muy prolongados.

Por otra parte son escasos los programas de secado que se han ensayado tanto para madera suave como para madera dura, motivo por el que adquiere una gran importancia este estudio en el que se prueban dos programas de secado para madera de encino *Quercus Candicans* Neé .

De acuerdo al INEGI (1997), el volumen extraído en las unidades de producción rurales con explotación forestal de productos maderables en el país es de 13,449,136 m<sup>3</sup>, ubicándose en tercer lugar Oaxaca con un 14.8%. El volumen extraído en la entidad es de 1,987,719 m<sup>3</sup> de los cuales el 77.9% corresponde a encino, 2.5% a pino y 0.3% a oyamel. Del volumen estatal extraído de encino; el 85.5% procede de la sierra norte, INEGI (1996).

Rietz y Page (1971), Boone et al. (1988), Wengert (1990) y Simpson (1991), han definido programas de secado por grupos de especies y por regiones de U.S.A., para encinos blancos y rojos de las partes bajas del sureste de U.S.A. de 1/4 y 5/4 de pulgada, el programa T2-C1; para encinos rojos de las partes altas del noreste, de 4/4" y 5/4 ", el programa T4-D2 para los de 6/4" y 8/4".

Bejar (1982), compara el secado de la madera de *Quercus crassifolia*, *Q. Candicans*, *Q. Obtusata*, *Q. Laurina* y *Q. Castanea* utilizando tres métodos de secado: al aire libre, en estufa convencional y en estufa eléctrica y evalúa los tiempos de secado y los defectos de acanalado, torceduras y arqueamiento. El tiempo de secado al aire libre fue de 3 meses 8 días para lograr un 16.75%; 1 mes 16 días para alcanzar un 10.21% en la estufa eléctrica y en estufa convencional en 12 días el C.H. fue de 9.48% el sistema de secado en estufa convencional presentó menos defectos de acanalado y torceduras en comparación con el secado por deshumidificación y el arqueamiento no presentó diferencias entre sistemas de secado.

Razo (1990); en algunas especies de encinos nacionales aplicó el programa T2-C2, secándolas en 23 días a 6% de C.H. y evaluó los defectos de acanalamiento, torceduras y encorvado; sin reportar la eficiencia de la secuela en la calidad de la madera, recomienda secar por separado a los encinos blancos y a los rojos, para mejorar el proceso de secado, pero

además sugiere un tratamiento de vaporización o inmersión en agua en los encinos blancos, para eliminarles los extractivos y acelerar el secado.

Otra alternativa que se ha utilizado para reducir el tiempo de secado ha sido la vaporización previa de la madera al inicio del proceso. Simpson (1975), Harris et al. (1989), y McMillen(1969), indican que la vaporización previa es factible por no requerir equipo adicional; que con la vaporización previa se aumenta la permeabilidad de la madera al abrir su estructura siendo mayor en el sentido longitudinal pero favoreciendo también la transversal, que es más importante para el secado, al mismo tiempo se aumenta la difusión del vapor de agua, factor importante en la velocidad de secado. La velocidad de secado de la madera aserrada de encino con vaporización previa es alta en las primeras etapas.

Avila (1991), realiza un estudio sobre secado en estufa de la madera aserrada de 2.54 cm de espesor de *Quercus acutifolia*. En este estudio analizó la influencia del prevaporizado en las características y el tiempo de secado. El contenido inicial promedio de humedad de la madera fue de 70%. El contenido de humedad final fue de 8%, con tratamientos de igualamiento y acondicionamiento en 15 y 13.5 días.

Zavala y Hernández (1995), en el secado al aire libre, definen que el encino (*Quercus Laurina*) requiere el doble de tiempo que el pino y el aile, y determinan un modelo de regresión para predecir el contenido de humedad de la madera en diferentes intervalos de tiempo. Los principales defectos observados en encino fueron las torceduras, el arqueamiento y las rajaduras, en ese orden.

Zavala (1998), hace un análisis del efecto del precalentamiento en agua en el proceso de secado convencional y al aire libre de madera de encinos *Quercus Candicans*, *Quercus Rugosa* y *Quercus Laurina*. Evaluaron el efecto a 70° C en el tipo de secado, la velocidad de secado y la calidad de secado. En *Quercus candicans*, la madera tratada y secada al aire libre fue de mejor calidad que la que no se sometió a tratamiento. El precalentamiento de la madera permite aumentar su permeabilidad y al mismo tiempo plastificar los elementos constitutivos por medio del calor en combinación con la humedad, lo que favorece al movimiento del agua, acelera el secado y reduce los defectos de la madera.

De los experimentos realizados en este trabajo, se obtienen datos de temperatura, humedad relativa, velocidad de flujo de aire, y pérdida de humedad de las muestras, lo que permite generar curvas de cinéticas de secado y gráficos de las variables medidas constantemente en el túnel de secado, los programas de secado son elaborados siguiendo la metodología de Simpson(1991), la cual es ampliamente aceptada en

el secado de madera.

## Materiales y métodos

Las pruebas de secado se realizaron en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, seleccionando y preparando previamente las muestras, madera obtenidas de un árbol de Encino *Quercus Candicans* Neé talado en la Sierra Juárez ubicada al Norte del estado de Oaxaca; de este árbol se obtuvieron 8 tablas de 230 cm. de largo X 20 cm. de ancho y 2.5 cm. de espesor; cada tabla fue aserrada para obtener muestras de 50 cm. de largo X 20 cm. de ancho X 2.5 cm. de espesor y probetas de 2.5 cm. de ancho X 20 cm. de largo y 2.5 cm. de espesor así como lo muestra la figura 1.

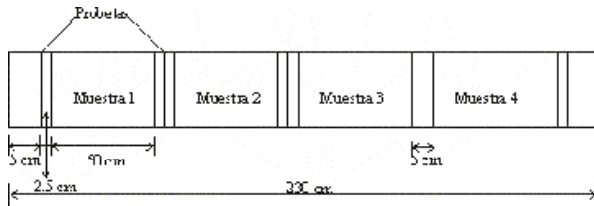


FIGURA 1. CORTE PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS Y PROBETAS.

Se determinó el contenido de humedad inicial de la madera mediante el método de la estufa que es un procedimiento normalizado por DIN 52183, ISO 3130, ASTM D-4442-84, utilizando las probetas de cada muestra y haciendo un promedio de sus contenidos de humedad; durante este tiempo las muestras permanecieron inmersas en agua, para evitar el secado al aire libre, las muestras y probetas fueron pesadas en una balanza Navigator marca Ohaus, con una capacidad de hasta 8000 g y sensibilidad de  $\pm 0.5$  g.

Fueron elaborados dos programas de secado de acuerdo a la metodología propuesta por Simpson(1991), la cual considera el contenido de humedad inicial de la madera, el contenido final al que se quiere llegar con el secado, la densidad real y el espesor de la madera. Se aplicaron dos programas de secado identificados uno como fuerte(T3C4) y otro como suave(T1C3) debido a las condiciones a las que operan, estas condiciones se muestran en el cuadro I y II.

Cuadro I. Programa de secado fuerte.

Programa para <i>Q. candicans</i>		Espesor de 2.54 cm		$\rho_{m=1.52}$ g/cm <sup>3</sup>					
programa FUERTE T3-C4									
ETAPA	% CH	TBS °F	TBS(° C)	DBH	TBH °F	TBH °C	%HR	CHE	CS
0	65	110	43.29	0	110	43.29	100	-	-
1	65	110	43.29	7	103	39.405	78	14	0.215384
2	40	110	43.29	10	100	37.74	70	12	0.3
3	35	110	43.29	15	95	34.965	57	9.5	0.271429
4	30	120	48.84	25	95	34.965	40	6.6	0.22
5	25	130	54.29	40	90	32.19	21	3.8	0.152
6	20	140	59.94	50	90	32.19	14	2.6	0.13
7	15	160	71.04	20	140	59.94	58	8	0.533333
8	8	160	71.04	8	152	66.6	81	13	1.625
9	10	160	71.04	8	152	66.6	81	13	1.3

Cuadro II. Programa de secado suave.

Programa para <i>Q. candicans</i>		Espesor de 2.54 cm		$\rho_{m=1.52}$ g/cm <sup>3</sup>					
programa SUAVE T1-C3									
ETAPA	% CH	TBS °F	TBS(° C)	DBH	TBH °F	TBH °C	%HR	CHE	CS
0	65	100	37.74	0	100	37.74	100	-	-
1	65	100	37.74	5	95	34.965	83	16.1	0.247692
2	40	100	37.74	7	93	33.855	77	13.9	0.3475
3	35	100	37.74	11	89	31.635	65	11.2	0.32
4	30	105	40.515	19	86	29.97	46	7.9	0.263333
5	25	105	40.515	35	70	21.09	16	3.3	0.132
6	20	115	46.065	50	65	18.315	10	0.4	0.02
7	15	120	48.84	19	101	38.295	51	8	0.533333
8	8	120	48.84	8	112	44.4	77	13	1.625
9	10	120	48.84	8	112	44.4	77	13	1.3

Otro de los factores fue la velocidad de flujo de aire, para lo cual se establece un flujo lento de 1.073m/s y uno rápido de 1.64 m/s en promedio. Para llevar a cabo los experimentos se utilizó un diseño factorial.

Martínez (1996) menciona que los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de éstos sobre una respuesta. El más importante de estos casos ocurre cuando se tienen k factores, cada uno con dos niveles. Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones y se conoce como diseño factorial  $2^k$ ; se supone que los factores son fijos además que los diseños son completamente aleatorios y que se satisface la suposición usual de normalidad. El diseño para los experimentos en el secado de madera se hizo de la siguiente manera: se establecieron dos niveles de programas de secado y dos niveles de flujo de aire, por lo que se desarrolló un diseño factorial de  $2^2=4$  combinaciones posibles de niveles de factores con su réplica correspondiente; en donde por cada prueba se sometieron a secado 4 muestras, teniendo un total de 32 muestras secas al final de las pruebas.

La evaluación de la calidad de la madera se realizó aplicando el procedimiento dado por la norma Chilena Nom.

178. Of. 79, la cual hace una clasificación por aspecto de las maderas sometidas a secado, la inspección y evaluación de la calidad de secado se realizó con base a la intensidad de defectos que se presentaron en las tablas, de manera que cada pieza evaluada se ubicó en la clasificación de grados de acuerdo a la intensidad de sus defectos, aplicando a cada grado un factor de desclasificación utilizado por Kauman y Mittak (1996) como se observa en el cuadro III.

CUADRO III. GRADOS DE CALIDAD POR FACTOR DE DESCLASIFICACIÓN. TOMADO DE KAUMAN Y MITTAK (1996).

Grado	Factor de desclasificación	Intensidad de defecto
1	0.00	Ausente
2	0.50	Ligero
3	2.00	De regular a fuerte
4	2.50	Intenso

Los defectos ponderados fueron la acanaladura, las rajaduras, las grietas, la arqueadura, la encorvadura y las torceduras. Los valores de los defectos presentados se ubican en sus niveles correspondientes.

Los datos velocidad del aire, fueron medidos con un anemómetro tipo Tri-sense marca Cole-Parmer, la humedad relativa y la temperatura del aire se miden con un sensor HUMICAP HMP234 marca Vaisala, estos datos fueron registrados constantemente, en una computadora, utilizando un sistema de adquisición de datos, para la medición de las pérdidas de peso de las muestras se utilizó una celda de carga marca Interface modelo SM-25 con capacidad de 12.5 Kg (25 lb).

## Resultados y Discusión

En la Fig. 2 se muestra la rapidez de secado en función del contenido de humedad para los programas de nivel bajo TIC3, graficados con respecto al contenido de humedad de las muestras, para analizar el comportamiento antes y después del punto de saturación de la fibra (PSF); en este gráfico se observa cómo en las tres curvas la rapidez de secado al inicio del proceso es mayor, ya que se empieza eliminando el agua libre, la cual está contenida en los lúmenes o cavidades superficiales de la madera y es eliminada con mayor facilidad porque no está adherida a las estructuras celulares de la propia madera. Por otra parte, las curvas de rapidez muestran que después de un determinado contenido de humedad la rapidez de secado disminuye, en este caso la disminución se da entre un 20% y 30% CH, punto en donde el agua libre ha sido removida y se

empieza a eliminar el agua de saturación o higroscópica, por lo cual los mecanismos de eliminación de humedad se hacen mas lentos, razón por la cual en este punto se empieza a elevar la temperatura del aire y las humedades relativas disminuyen, ya que a determinado tiempo la madera llega a un equilibrio con el medio que lo rodea por lo que es necesario cambiar las condiciones del ambiente y romper ese estado de equilibrio. Las interacciones de la humedad con la estructura de madera son mas fuertes y las condiciones internas empiezan a ser mas complicadas, por lo que factores como la porosidad y permeabilidad de la madera, estructuras celulares, presiones internas y procesos difusivos en el interior requieren de mayor tiempo para llevar la humedad del interior de la madera a la superficie de evaporación.

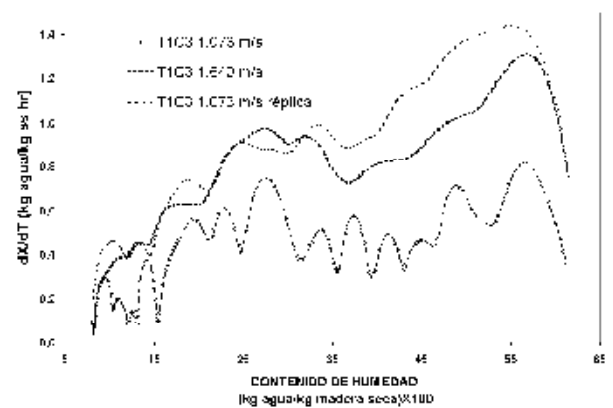


FIG. 2. RAPIDEZ DE SECADO PARA LOS PROGRAMAS TIC3.

Por otra parte las curvas de rapidez de secado para los programas de secado fuertes (programas T3C4), se muestran en la Figura 3, en donde la tendencia es similar a la de los programas suaves, ya que a medida que se va eliminando la humedad de las muestras, las velocidades de secado son menores, pero en comparación con los programas TIC3, la velocidad en estos programas son mayores, provocado por las temperaturas más altas, lo que permite una mayor transferencia de calor y una mayor evaporación en la superficie de las tablas (mayor transferencia de masa). La teoría de capa límite (Foust, 1980) puede ser referida aquí, ya que podemos comparar las velocidades de secado, de los programas de secado a diferentes velocidades de flujo de aire; por lo que podemos analizar que a mayor velocidad de flujo de aire (1.64 m/s), la velocidad de secado fue mayor. Así mismo, la Figura 3 muestra algunos valores negativos en la velocidad de secado, lo que significa que las muestras en lugar de perder humedad, empezaron a absorber; esto puede deberse a que cuando se opera el túnel de secado, se va monitoreando la humedad relativa del aire, y cuando la

humedad es mas baja de lo establecido previamente por el programa, se tiene que suministrar vapor al sistema, trayendo como consecuencia una descompensación en la humedad del aire de secado, adheriéndose este vapor de agua a la superficie de la madera aumentando al mismo tiempo el peso de las muestras, lo cual es registrado por la celda de carga; esto no causa mayor problema ya que las temperaturas que operan en el túnel, ayudan a evaporar fácilmente las pequeñas cantidades de agua adheridas superficialmente.

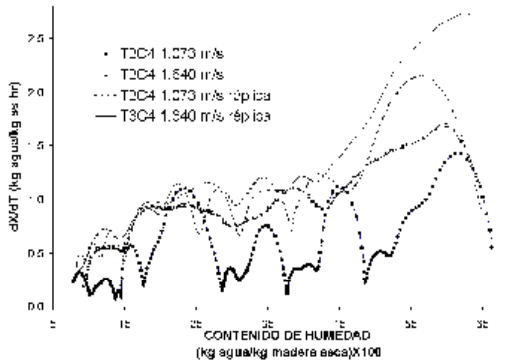


FIGURA 3. RAPIDEZ DE SECADO PARA LOS PROGRAMAS T3C4

La Figura 4, muestra cómo la rapidez de secado se ve afectada por la temperatura y la humedad relativa; esta figura corresponde al programa T1C3 (réplica) a una velocidad del aire de 1.073 m/s; se observa que la rapidez de secado al inicio de la prueba va aumentando, esto debido principalmente al alto contenido de humedad superficial de la muestras. Por otra parte a medida que va disminuyendo el contenido de humedad de las muestras, la rapidez de secado empieza a disminuir, aún con el aumento de la temperatura y la disminución de la humedad relativa del aire, esto debido a que la humedad a eliminar esta contenida más en el interior de la madera; las características mismas del material (encogimiento) empiezan a dificultar el transporte de agua, pero también las contracciones entre las fibras retardan el paso de humedad a través de los poros.

Es importante observar el efecto que tiene la temperatura en la rapidez de secado, ya que el cambio de una etapa a otra provoca un aumento en la rapidez de secado, aún cuando en la etapa anterior la rapidez de secado va disminuyendo, es decir se rompe la tendencia a buscar el equilibrio.

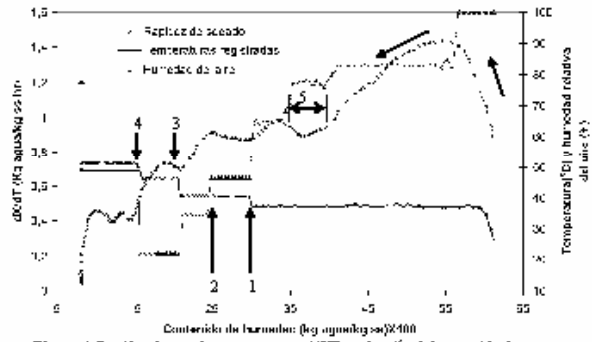


FIGURA 4. RAPIDEZ DE SECADO, TEMPERATURA Y %HR EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA T1C3 A 1.07 RÉPLICA

La figura 4 presenta la tendencia de la rapidez de secado y la manera en que es afectada por las condiciones del proceso. Se puede observar que por ejemplo: en el punto 1, el aumentar temperatura y disminuir humedad del aire, provoca un crecimiento en la curva de rapidez, razón por la cual los programas de secado trabajan en etapas o pasos, ya que el sólido buscará siempre el equilibrio con el medio que lo rodea, llegando a un punto en el cual ya no puede perder mas humedad de la ya eliminada, por lo cual es necesario cambiar las condiciones que permitan romper ese estado. La Figura 4 muestra también los puntos 2,3,4, en los que se observa claramente el efecto que tiene cada etapa en la eliminación de humedad. Por otra parte, el punto 5 muestra como la disminución tan sólo de la humedad relativa puede acelerar el proceso de remoción de humedad.

La Figura 5 presenta la curva de secado de los datos del programa T3C4 a 1.07 m/s, los cuales tienen y siguen un patrón definido aún cuando su tendencia es poco común. Pueden observarse cuatro zonas que presentan un comportamiento similar, a todos les antecede un decrecimiento en la rapidez de secado, seguido inmediatamente por estas zonas que tienden a aumentar ligeramente el proceso evaporativo, esto puede deberse a la presencia de extractivos que obstruyen y bloquean el paso de humedad, pero que necesitan determinada energía, además de tiempo para ser removidos o ser disueltos de alguna forma por la humedad.

La figura 5 muestra cinéticas con tendencias mas claras y con menos perturbaciones, apreciando claramente, el efecto de los programas de secado en cada etapa del mismo, mostrado en diferentes puntos, los cambios de la rapidez de secado. Es necesario mencionar que la velocidad de difusión depende en gran parte del grosor de la pared celular y de su permeabilidad. Como ya se ha mencionado, las diferentes especies de madera exhiben diversos comportamientos, la causa principal de estas

diferencias puede deberse a la presencia de extractivos en la madera. El efecto de estas sustancias es deprimir las curvas a diferentes valores según la especie. Un efecto importante de eliminar los extractivos de una pieza de madera es un incremento en la cantidad de humedad polimolecular (Kollman, 1968).

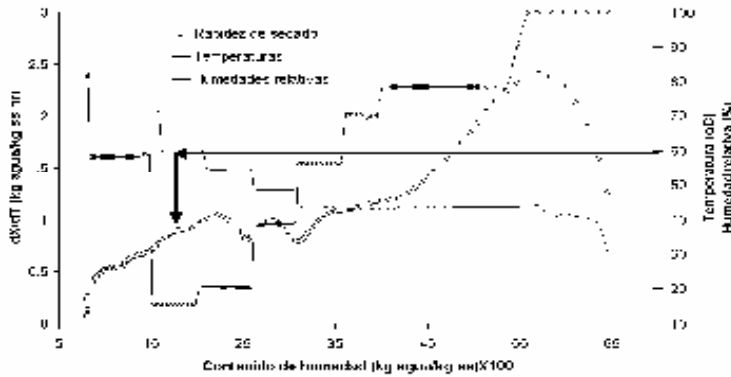


Figura.5. Rapidez de secado, temperatura y %HR en función del contenido de humedad para T3C4 a 1.64 m/s.

FIGURA 5. RAPIDEZ DE SECADO, TEMPERATURA Y %HR EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA T3C4 A 1.64 M/S.

Casi todo el aumento en la capacidad de sorción asociada con la eliminación de los extractivos toma forma de humedad polimolecular y por lo tanto refleja el efecto de llenado con extractivos dentro de la pared celular, lo que impide que la humedad ocupe dichos espacios.

La ponderación de la calidad de la madera es presentada en el cuadro IV, la cual es obtenida siguiendo el procedimiento descrito anteriormente:

CUADRO IV. CALIDAD DEL SECADO DE ACUERDO A LA MEDIA POR DEFECTOS.

Programa de secado	MDF	CDS	IDS
T1C3-R a 1.6 m/s	5.125	Inadecuados	Mala
T1C3 a 1.07 m/s	3.750	Inadecuados	Mala
T1C3-R a 1.07 m/s	3.125	Inadecuados	Mala
T1C3 a 1.6 m/s	5.125	Inadecuados	Muy mala
T3C4 a 1.07 m/s	7.750	Inadecuados	Muy mala
T3C4-R a 1.07 m/s	5.250	Inadecuados	Muy mala
T3C4 a 1.6 m/s	6.125	Inadecuados	Muy mala
T3C4-R a 1.6 m/s	8.375	Inadecuados	Muy mala

Como se puede observar, las condiciones son calificadas como inadecuadas, esto es provocado en gran parte por la presencia pronunciada del defecto por acanaladura, defecto

que para ciertas muestras puede ser eliminado con un cepillado posterior al secado. Es importante mencionar que las prácticas de secado industriales operan con grandes cantidades de madera, lo que disminuye en gran proporción los defectos por acanaladura, ya que en el apilado además del peso de todas las maderas, se colocan pesas que impiden que las tablas sufran alabeos. Los datos de las pruebas experimentales se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza. Las variables respuesta, empleadas fueron el tiempo de secado y el nivel de defectos, en donde para ponderar el tiempo se usó el primer momento de la curva de velocidad de secado,  $\mu_1$ ,

$$\mu_1 = \int \left( t \cdot \frac{dX}{dt} \right) \cdot dt$$

Este análisis de varianza se lleva a cabo utilizando el software estadístico NCSS 97, el cual permite generar gráficos que muestran el efecto que tienen los programas de secado y las velocidades de flujo de aire. El análisis de varianza ( $p < 0.5$ ) muestra en la Figura 6 que el programa de secado fuerte (temperaturas más elevadas) genera tiempos de secado más cortos, además muestra el efecto de la velocidad de flujo de aire, el cual reduce el tiempo de secado cuando la velocidad de aire es mayor.

La Figura 7 presenta el efecto de la interacción de el nivel de programa de secado y la velocidad del flujo de aire en el nivel de defectos presentes en las muestras, mostrando que los programas de secado suaves y los flujos de aire más lentos, permiten disminuir la generación de defectos, mientras que por el contrario los programas de secado más fuertes y los flujos de aire más rápidos generan mayor cantidad de defectos.

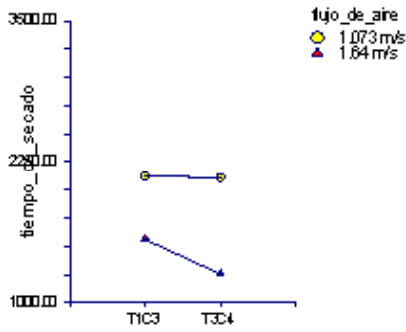


FIGURA 6. EFECTO DE LA INTERACCIÓN DEL NIVEL DE SE-CUELA Y VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE EN EL TIEMPO DE SECADO.

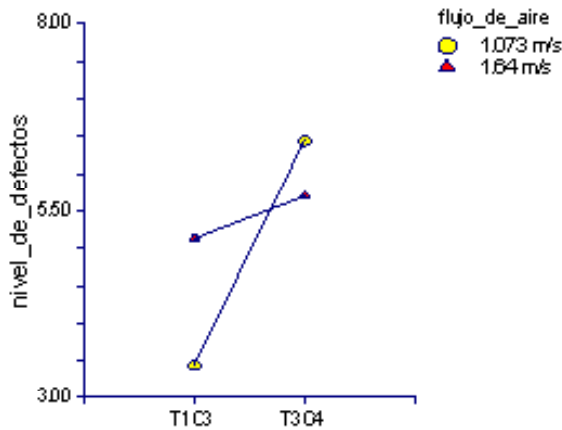


FIGURA 7. EFECTO DE LA INTERACCIÓN DEL NIVEL DE PRO-GRAMA Y VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE EN LOS DEFECTOS

## Conclusiones

Los programas de secado basados en el contenido de humedad, son apropiados para el control y seguimiento de las etapas del proceso de secado de maderas duras y también apropiados para realizar cambios en las condiciones del proceso.

El cambio de condiciones de una etapa a otra, provoca siempre un aumento en la rapidez de secado, rompiendo la tendencia que sigue cada lote de muestras al equilibrio con el medio que lo rodea. Además es importante considerar (cuando se tratan maderas resinosas), la influencia que puede tener la temperatura, cuando se aplican programas de secado arriba de los 60° C; ya que se provoca la fluidificación de las resinas, que obstruyen el flujo de humedad.

La aplicación de ambientes artificiales para secar madera reduce considerablemente la generación de defectos, ya que muchas de las muestras que se dejaron secar en condiciones ambientales, se acanalaron y agrietaron de manera severa a

los pocos días de su exposición al ambiente, mientras que las muestras sometidas a secado artificial redujeron considerablemente la presencia de defectos y sobre todo disminuyó la magnitud de cada defecto.

De acuerdo al análisis de varianza de los datos y la ponderación de defectos, el programa de secado que provoca menor generación de defectos al encino *Quercus Candicans* Neé es el programa suave TIC3 con un flujo de aire de 1.073 m/s, el cual por otra parte consume más tiempo en comparación al programa de secado fuerte (T3C4), lo que involucra un mayor consumo de energía, que puede verse reflejado en los costos del proceso, cuando estas pruebas son llevadas a escala industrial

## Bibliografía

- AVILA S., G.C.  
1991 Secado en estufa de la madera aserrada de 2.54 cm. de espesor de *Quercus Acutifolia*, Ciencia Forestal en México. INIFAP-SARH, 16.
- BEJAR M.G.  
1982 Aserrío de la madera de encino, Libro INIF, 62. pp:11-33.
- BOONE, R. S., KOZLIK, J.C., BOIS, J. P. Y WENGERT, M.E.  
1988 Dry Kiln Schedule for Commercial Woods, Temperature and Tropical, USDA. Forest Service. pp:3-14.
- FOUST A.S., WENZEL L.A., CLUMP C.W. NAUS L., ANDERSEN L.B.  
1980 Principios de Operaciones Unitarias. Ed. CECSA. 2ª edición, quinta impresión, México., 409-420.
- FUENTES T.F.J., SILVA G.J.A., MONTES R.  
1996 Manual de secado técnico convencional de la madera, Libro UAG, primera edición, ISBN 968-895-597-3, Guadalajara, México. pp: 7-61.
- FUENTES L.M.E.  
1996 Análisis comparativo de 3 sistemas de secado con madera de encino(*Quercus sp*).Tesis UACH, México.
- HARRIS A.R., SCHOREEDER G.J. AND ADDIS C.S.  
1989 Steaming of red oak prior to Kiln.drying effects on moisture movement. Forest prod., 39. pp:70-72.
- INEGI  
1996 Atlas Agropecuario del Estado de Oaxaca, VII Censo Agropecuario de 1991, ISBN 970-13-0754-2. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI  
1997 La explotación forestal en el Estado de Oaxaca, ISBN 970-13-159-4, México. pp: 3-21.
- KAUMAN W. Y MITTAK G.

- 1996 The effect of thermal degradation on shrinkage and Collapse of wood from 3 Australian species, Forestry Prod. Journ 11: 445-452.
- Kollman F.P. y W.A. Cote Jr.  
1968 Principles of wood technology, Solid wood Springer-Verlag, Nueva York.
- MARTÍNEZ G. A.  
1996 Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría, primera reimpresión, Ed. Trillas, ISBN 968-24-2155-1, México, 184-229.
- McMILLEN, M.J.  
1969 Accelerated kiln drying of presurfaced 1-inch Northern Red Oak, USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Paper FPL, 122-129.
- RAZO, H., R.  
1990 Estudios del secado de varias especies de maderas nacionales mediante el sistema Moore, Tesis profesional, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la madera, Univeridad Michoacana.
- RIETZ, C. R. Y PAGE, R.H.  
1971. Air Drying of lumber, USDA Agriculture Handbook No. 188. Wash. D.C.
- SIMPSON W.T.  
1991 Dry kiln operator's manual, USDA, Fort. Serv. F.P.L Agriculture Handbook, Madison, WI, 1-141.
- SIMPSON W. T.  
1975 Steaming northern red oak to reduce Kiln-Drying time. Forest Prod. J. 26, 1-12.
- WENGERT M.E.  
1990 Drying Oak Lumber, University of Wisconsin-Madison. U.S.A., 167.
- ZAVALA Z. D.  
1998 Análisis del efecto del precalentamiento en agua en el proceso de secado de la madera de encinos, Ciencia y Tecnología de la Madera, I: 10-25.
- ZAVALA Z., D Y HERNÁNDEZ C. M.R.  
1995 Análisis del secado al aire libre de la madera aserrada de pino, encino y aile, UMSNH, Ciencia y Tecnología de la madera.